



# Texture Swapping: テクスチャの交換錯覚による皮膚質感の上書き

Texture Swapping: Overwriting Skin Texture through Texture Swapping Illusion

松原雅敏, 脇坂崇平, 南澤孝太

Masatoshi MATSUBARA, Sohei WAKISAKA and Kouta MINAMIZAWA

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 (〒 223-8526 横浜市港北区日吉 4-1-1, ma104pyz@kmd.keio.ac.jp, wakisaka@kmd.keio.ac.jp, kouta@kmd.keio.ac.jp)

**概要:** 我々は自身の肌の質感が風船や毛皮、葉などの異なる質感に変化しているように感じられる「Texture Swapping」という錯覚を発見した。本研究ではこの錯覚を手軽に、そして非現実的な質感にも対応するため、ディスプレイ型の装置を開発した。この装置を使用することで、3D モデルに対応したアバターの手の質感を体感することができる。これにより、自身の身体性の変異を感じるトリガーとして機能させることが可能であると考えている。

**キーワード:** 身体錯覚, 触覚, アバター体験, 身体性

## 1. はじめに

自分自身の分身であるアバタを活用したゲームや SNS サービスなどが増加し、メタバース上でのアバターの活躍領域が広がってきている。しかし、視覚的にアバターになれても、物理世界に取り残された自分自身の体は、皮膚の質感レベルでアバターに変化していると感じることはほとんどない。例えば、猫やモンスターといった人以外のアバターを利用する人がいるが、リアルな体そのものがそのように変化しているというわけではなく、メタバース上での外見がそのように変化しているだけである。つまり、アバターと物理的な体との間には、質的な違いや形状の違いといったギャップが常に存在するため、リアルと欠け離れた見た目は没入感や体験クオリティの低下を引き起こす恐れがある。

しかし身体的ギャップが存在しても、例えば尻尾の付随するバーチャルボディや鳥を模したアバターなどの一部の非人型アバターに対しては、身体所有感を生起することは可能であることが報告されている [1] [2]。また、普段使っているアバターの方が、他の人型アバターやアニメ調のアバターより身体所有感や臨場感が高くなる [3] といったように、アバターの外見に関わらず、慣れ親しんだ外見に対しては、アバターとの一体感が高まることが分かっている。

このように、一定の条件下では、一般的な人型アバター以外に対しても身体所有感を感じさせることは可能である。しかし、多種多様なアバターが登場するにつれ、今後は様々なアバターの特徴を自身の体で感じ取り、自分でない体を即時的に自分のものだと強く認識できる仕組みが求められると考えている。そこで、我々が発見した「Texture Swapping」という新たな錯覚を用い、アバターの肌の質感をリアルな身体で感じる可以实现する。

## 2. Texture Swapping のコンセプトと提案手法

### 2.1 Texture Swapping について

Texture Swapping とは、視覚情報に対応する質感の触覚刺激を与えることによって、自分の手がまるでその質感に変化したように感じられる錯覚のことだ。図 1 のように、体験者は風船でできた手を鏡越しに見ており、触覚提示者が体験者の手に風船で触覚提示を行うと、体験者はまるで自分の手が風船になったような錯覚が起きる。

似た事例として、ゴム製の手を自分の手であるように感じるラバーハンドイリュージョン [4] があるが、Texture Swapping では、風船以外にも、綿や葉っぱ、針金など、様々なテクスチャの質感に自分の手を変容したように感じることができる (図 2)。また、本体験の錯覚原理は、皮膚が自由に伸び縮みする感覚を味わえるスライムハンド錯覚と類似している [5]。しかし、スライムハンド錯覚は体験者の手に直接触覚刺激を与えているのに対し、Texture Swapping ではテクスチャの質感に合わせた触覚刺激を行っている点で異なる。他にも、マーブルハンド錯覚という皮膚の質感が大理石に変化したような感覚を体験できる現象もある [6]。しかし、これは手にハンマーで軽く触覚を与えたタイミングで、石が叩かれたときのような音刺激を与えることで手の質感変容を起こすというものであり、Texture Swapping とは手法が異なる。

Texture Swapping では、見ている質感と、触られている質感の、テクスチャ上の交換が起きることで肌の質感を多様なテクスチャに変えることができる。素材と皮膚の間でテクスチャの交換が起きていることから、我々は Texture Swapping と命名した。



図 1: 鏡を用いた Texture Swapping の体験風景

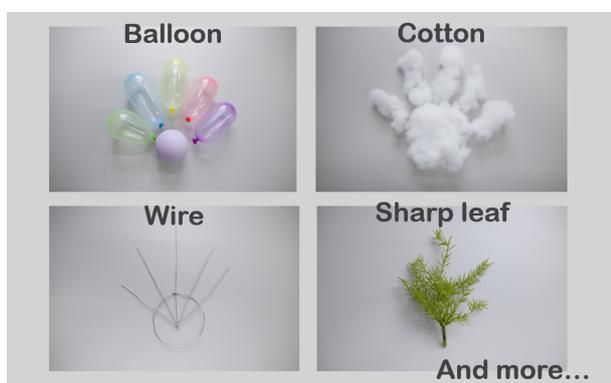


図 2: 体験可能なマテリアルの例

## 2.2 ディスプレイ型体験装置

元は鏡でこの錯覚を発見したが、より手軽に幅広いアバター肌の質感に適用できるように、PC、ディスプレイ、ハンドトラッキングシステムを備えたデジタル版を開発した(図3)。ハンドトラッキングはHMD(Oculus Quest2)の機能を用いており、Boxの中に手を入れると、様々なテクスチャの手に変えることができる。開発環境はUnityを使用し、作成したVR空間をディスプレイに映し出している。触覚提示者はデジタル手の外観に合わせて触覚を提示することで、Texture Swappingを実現する。このデジタル版では、葉っぱや毛皮、革など、3Dモデルに対応する質感を提示することが可能である。

## 3. Texture Swapping の効果検証実験

### 3.1 実験内容

鏡とディスプレイの両条件において、Texture Swappingの錯覚の生起と強度を確認するために、それぞれ3つの素材を用いた検証を行う。鏡の条件では、風船・綿・葉っぱの素材を用い、ディスプレイでは風船・毛皮・革の素材を用いる。触覚提示者は、素材に対応する質感を体験者に与える。図4に、体験者が見る素材と触覚提示者が触覚を与える素材の対応関係を示した。評価指標は7段階リッカート尺度を用いたアンケートを用いる(表1)。1を「全く感じ

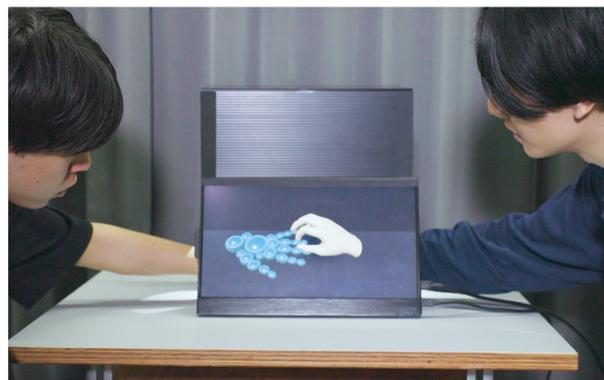


図 3: ディスプレイを用いた Texture Swapping の体験風景

表 1: 7段階リッカート尺度のアンケート内容

No.	質問内容
Q1	触れられると、オブジェクトの手がまるで自分の手のように感じた
Q2	触れられると、オブジェクトの手の質感通りに自分の手の変化したように感じた
Q3	自分の手と見えている手の位置がずれているように感じた
Q4	どういう質感で触られたと感じたか (Q1~3 と評価が異なるため本文を参照)

なかった」、4を「どちらとも言えない」、7を「とても強く感じた」とする。なお、Q4については、1を「何かの素材で触られている感じがした」、7を「生身の手で触られている感じがした」とする。これら4つの質問を、1回の体験が終了するごとに回答してもらう。

### 3.2 実験条件

本実験では、20代の学生6名が参加した。体験者は、初めに鏡の条件で体験を行う。風船・綿・葉の3つの素材を体験する順番は体験者ごとにランダム化し、これら3つの素材の体験を3回繰り返し行う。例えば、ランダム化した順番が綿→葉→風船の順なら、これを1周とみなし、2周目も同様に綿→葉→風船の順で実施する。このようにして、合計9回の試行を行う。3回繰り返す理由は、初めと後で錯覚の感じ方が変わる可能性があるためである。1回の試行が終わるごとにアンケートに回答してもらう。

鏡の条件が終了したら、次にディスプレイの条件でも同様に3つの素材の体験を3周分行う。体験する順番はランダム化し、計9回の試行を行い、1回の試行が終わるごとにアンケートに回答してもらう。

なお、触覚提示者は体験者の親指から小指にかけて触覚を与え、これらを3回繰り返す。1回の試行時間は約20秒~25秒である。すべての実験が終了するまで、約25分~30分要する。



図 4: 鏡とディスプレイで使用する素材

### 3.3 実験結果

鏡（風船・葉・綿）とディスプレイ（風船・毛皮・革）それぞれに対する、6名のアンケート結果（Q1～Q4）をまとめたものを図5に示す。同一条件での3試行については平均値を算出した。各素材ごとに全被験者のデータを箱ひげ図で表示した（i.e., 平均値の中央値）。

まず鏡の条件の結果を見ると、風船・葉・綿の3つのパターンにおいて、Q1, Q2で4以上の回答が多いことが見て取れる。Q1は手の身体所有感について、Q2はTexture Swappingが生じたかどうかを聞いているため、所有感を感じた状態で錯覚を感じている人の割合が高いことが分かる。Q4の手で触られている感じがするか、素材で触られている感じがするかの質問に対しては、どれもばらつきが大きかった。

次にディスプレイの条件の結果を見ると、Q1, Q2で4以上を回答した人の割合が多いのは風船と毛皮のパターンで、一方で革の場合は結果がばらけた。Q4でも、風船と毛皮では素材で触られている感じがすると答えた人が多い一方、革の条件では結果がばらけた。

鏡とディスプレイで比較すると、Q3の手の位置にずれを感じたかについては、全体的に感じないと回答する人が多かった。しかし、鏡とディスプレイの条件を比較すると、鏡の方がずれを感じにくい人の割合が高い。また、錯覚強度に関しては、ディスプレイより鏡の方が強く感じたパターンが多いことが分かった。

## 4. 議論

まず初めに、様々な素材を鏡とディスプレイの条件下で試す中で、Texture Swappingについて明らかになってきたいくつかの傾向を示す。まず、この錯覚を引き起こすためには、以下の3つの条件が重要である。

1. オブジェクトの手の位置と実際の手の位置がほぼ一致していること。
2. 触覚刺激の位置とタイミングが、オブジェクトの手と一致していること。
3. 触られる素材の質感と、オブジェクトの手の質感のイメージが一致していること。

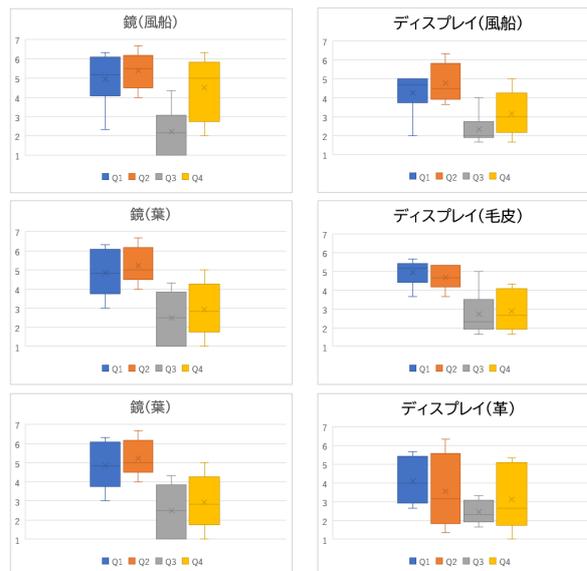


図 5: アンケート結果

刺激を与える位置とタイミング、および体験者が持つ質感イメージが異なる場合、錯覚は発生しないことが分かった。次に、錯覚が生じやすく、より効果が強まると考えられる5つの仮説を示す。

1. 明確な物理変化（伸びる、凹む、変形する）が視覚的に分かると効果が高まる。
2. 触れられて分かりやすい質感（ぶにぶに、ふさふさなど）は効果が強まる。
3. 触れられたとき、素材の質感を表現する音があると効果が強まる。
4. 3Dモデルは、リアルな質感と物理現象を表現する映像演出（クオリティ）が必要である。
5. 触られる体の部位によって感じ方が異なる。（例：手の甲と手のひらでは、手の甲に触れられる方が錯覚が起きやすい）

このようにTexture Swappingでは、クオリティや素材、個人のイメージ力などの影響を受け、錯覚の強度が異なってくる可能性があるためより詳細な実験と検証が必要である。

では、これらを踏まえ、鏡とディスプレイで、異なる傾向の結果が出た理由を考察する。錯覚強度に関して、鏡の方が強く感じている人がいたのは、鏡に映った景色は立体感を感じられる一方、ディスプレイの映像は画面を通じて見ているので、立体感を感じにくかったからと考えられる。実際にQ3の結果より、手の位置のずれを感じている人の割合は、ディスプレイの条件の方が多い。ディスプレイの利点は手を自由に動かせるため、身体所有感を感じやすく錯覚も起きやすいと想定していたが、立体感を感じにくかったため望んだ効果が出なかった可能性がある。また、手が重くなった際にハンドトラッキングしていた手の挙動がおかしくなる現象も起きたため、それらが原因になったとも考えられる。

ディスプレイの革の条件で錯覚が生じる人と生じない人で結果がばらけたのは、このような要因により影響を受けやすい人と受けにくい人の個人差が影響している可能性が考えられる。

## 5. 展望

ディスプレイの条件は、Texture Swapping の体験を手軽に、そして 3D モデルの質感に対しても効果が表れるか検証を行うために作成した。実験の結果より、ディスプレイ型でも錯覚を起こすことは可能であることが分かり、マテリアルさえ揃えれば無数のテクスチャで体験を作成することが可能である。今後さらに検証が行われる際には、現実では体感できないような質感も再現可能になると考えている。

また手だけでなく、Texture Swapping を全身で感じられる VR 体験の開発にも取り組んでいる。例えば猫のアバターになり、VR 内での映像提示に合わせて触覚刺激を与えることで Texture swapping が起こり、実際に自分が猫になったかのような感覚を強く認識することができると考えている。このように、アバターの肌の質感をリアルな身体で感じるさせるトリガーとして機能させ、高い身体所有感を誘発させることができると考えている。

さらに、体験者本人のみで錯覚を感じることができる、セルフインタラクションの可能性についても言及していく必要がある。例えば、ディスプレイ型装置の Box 内に、デジタル空間上で作成した壁や物の質感に対応したオブジェクトを実際に配置し、体験者がそれに触ることで錯覚を感じることができるかもしれない。しかし、Texture Swapping は相手に触られるという、受動的動作が鍵となる可能性もあるため、さらなる検証の余地がある。

## 6. まとめ

本研究では、自身の肌の質感が風船や毛皮、葉などの異なる質感に変化しているように感じられる「Texture Swapping」という錯覚について実験を行い効果を検証した。それにより、鏡を用いた体験だけでなく、ハンドトラッキングを取り入れたディスプレイ型でも Texture Swapping を体験することは可能であることが示された。このことから、条件さえ揃えば自身の肌の質感を様々な質感に変容させることが可能であると考えている。また、全身を含めたアバター体験を実現することで、より強力な認知や行動の変容を引き起こすことにつなげることができる。今後もさらなる検証と分析を行うことで、アバター体験の可能性を広げていきたいと考えている。

**謝辞** 本研究は JST ムーンショット型研究開発 Cybernetic being プロジェクト (JPMJMS2013) の支援を受けて行われた。

## 参考文献

[1] Steptoe, W., Steed, A., Slater, M.: Human Tails: Ownership and Control of Extended Humanoid Avatars, IEEE Transactions on Visualization and

Computer Graphics, Vol. 19, Issue. 4, pp. 583–590, 2013.

- [2] 小柳 陽光, 大村 廉: 飛行体験における没入感向上のための鳥アバターへの身体所有感の生起可能性の検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 22, No. 4, pp. 513–522, 2017.
- [3] 小柳 陽光, 鳴海 拓志, 大村 廉: ソーシャル VR コンテンツにおける普段使いのアバターによる身体所有感と体験の質の向上, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 25, No. 1, pp. 50–59, 2020.
- [4] Matthew Botvinick, Jonathan Cohen: Rubber hands ‘feel’ touch that eyes see, Nature, Vol. 391, No. 6669, pp. 756, 1998.
- [5] Kenri Kodaka, Yutaro Sato, Kento Imai: The slime hand illusion: Nonproprioceptive ownership distortion specific to the skin region, i-Perception Vol. 13, No. 6, pp. 1–9, 2022.
- [6] Irene Senna, Angelo Maravita, Nadia Bolognini, Cesare V. Parise: The Marble-Hand Illusion, PLoS One, Vol. 9, No. 3, pp.e91688, 2014.